УДК 004.932.4

А.Ю. Тітова
Донецький національний технічний університет,
пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТИКИ ОНКОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ НА ЗАСАДАХ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

A.Yu. Titova
Donetsk National Technical University,
2, pl. Shubankova, c. Pokrovsk, 85300, Ukraine

INFORMATION TECHNOLOGY DIAGNOSTIC BREAST CANCER ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC

Представлено огляд сучасних систем діагностики онкологічних захворювань молочної залози (МЗ) на основі термографії. Розглянуто особливості функціонування термографа, вирішено задачу розробки структури та принципу роботи інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ жінок на засадах нечіткої логіки. Сформовано алгоритми взаємодії програмних модулів інформаційної технології та їх функціонування під час аналізу характеристик термограм.
Ключові слова: онкологічні захворювання, інформаційна технологія діагностики, нечітка логіка.

The review of modern systems for the diagnosis of breast cancer (BC) based on thermography was represented. The features of functioning thermograph were considered, the task of developing the structure and working principle of information technology for the diagnosis of BC based on fuzzy logic was solved. The interaction algorithm of software modules an information technology and its functioning during the analysis of the characteristics of thermal image were formed.
Keywords: breast cancer, information technology diagnostics, fuzzy logic.

Постановка проблеми

У даний час онкологічні захворювання молочної залози (МЗ) є одним з найбільш небезпечних захворювань по показниках смертності в Україні та світі, тому проблема своєчасного діагностування та вибору правильного напрямку лікування є актуальною. Для вирішення цієї задачі створюють і досліджують нові інформаційні технології діагностики захворювань МЗ [1], в тому числі, з використанням засобів штучного інтелекту. Застосування інформаційних технологій дає змогу організувати скринінг великої кількості пацієнтів та виявити ознаки захворювання МЗ на ранніх стадіях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні системи діагностики раку МЗ на основі термографії обробляють кількісні характеристики термограм [2], а подальший аналіз візуальних характеристик теплового зображення виконує медичний персонал. Кількісний аналіз термограм, як правило, включає розрахунки максимальної температури МЗ, градієнта температури, різниці температур симетричних ділянок [3], показника температурного відгуку з використанням біотеплового рівняння Пенесса [4].

У рамках розвитку візуального аналізу були запропоновані підходи до реалізації 4D тепловізійної системи для інтерактивного медичного використання [5]. Крім того, автор [6] реалізує аналіз гістологічних і цитологічних досліджень МЗ на основі формалізації якісних знань експертів і нечіткого логічного виводу. Для класифікації термограм (норма, патологія) в комп’ютерній автоматизованій системі діагностики використовують дискретне вейвлет-перетворення та розрахунок

© А.Ю. Тітова

статистичних показників на основі просторової матриці залежності сірого рівня (gray-level spatial dependence matrix) та матриці протяжності [7].

Слід відзначити, що загальним недоліком розглянутих систем діагностики є те, що їх використання потребує, значною мірою, участі експертів. Це несе в собі долю суб'єктивізму та збільшує час скринінгу кожного пацієнта.

Мета дослідження – розробка інформаційної технології для організації масового скринінгу пацієнтів та своєчасного діагностування онкологічних захворювань МЗ на основі аналізу термограм МЗ.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

– дослідження апаратного забезпечення системи формування термограм;

– створення структури програмного забезпечення інформаційної технології діагностики захворювань МЗ;

– розробка математичних моделей та алгоритмів програмних модулів даної технології;

– оцінка адекватності моделей інформаційної технології.

Виклад основного матеріалу

У процесі дослідження розроблено структуру інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ на засадах нечіткої логіки, яка включає апаратне та програмне забезпечення.

Апаратне забезпечення інформаційної технології представлене термографом контактним цифровим (ТКЦ), у якому є наступні компоненти: сканер, пасивний термостат, блок гальванічної розв'язки, апаратний інтерфейс, комп'ютер, принтер [2], що зображені на рис.1.

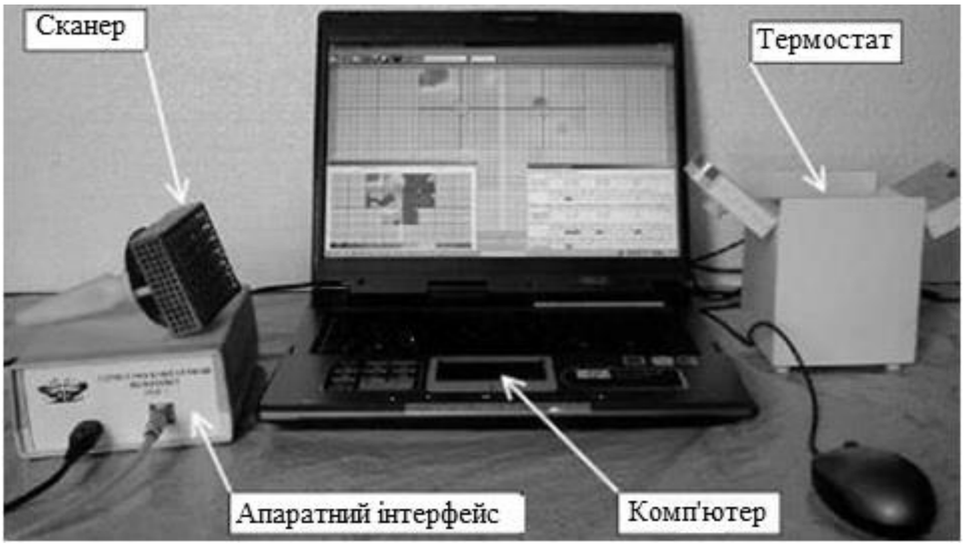


Рис. 1. Апаратне забезпечення інформаційної технології

Відомо, що в термографі сканер представляє собою матрицю інтелектуальних датчиків-термометрів, що дозволяє вимірювати коливання температури з роздільною здатністю 0,06 °C, може розпізнавати, виконувати десятки команд та керується комп'ютером.

Температурні показання виводяться у відповідній послідовності в числовому вигляді, тому на датчики-термометри не впливають електромагнітні перепади. Ці

датчики дають карту розподілу температури ділянки тіла (термограму), яку потрібно дослідити.

Для зберігання і калібрування сканера служить пасивний термостат, при розміщенні в якому забезпечуються однакові температурні умови для датчиків.

Отримана термограма аналізується програмним забезпеченням інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ жінок на засадах нечіткої логіки, структура якого представлена на рис. 2.

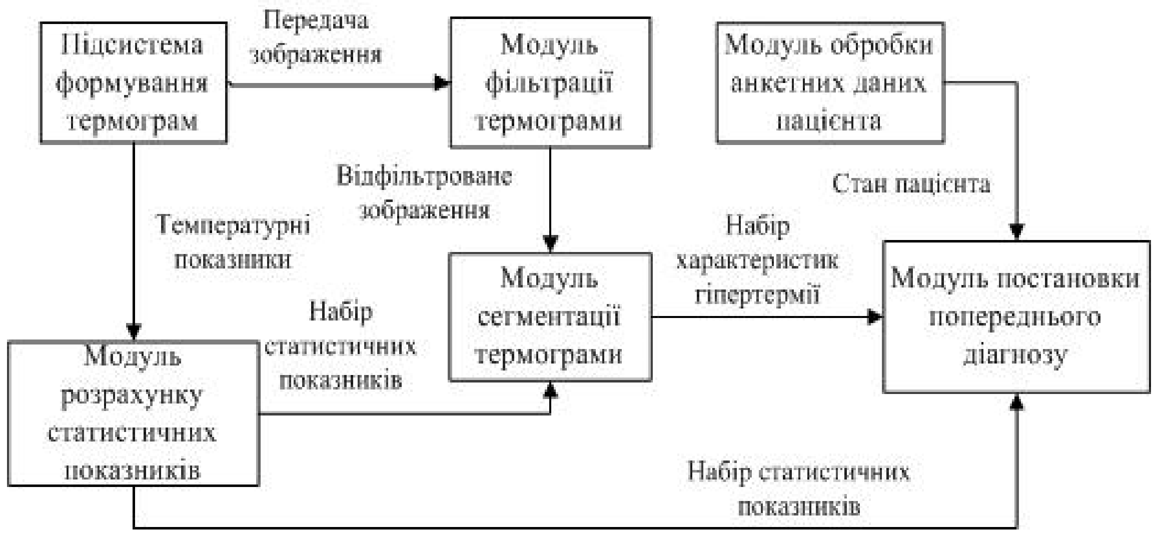


Рис. 2. Структура програмного забезпечення інформаційної технології

Як видно на рис.2, інформаційна технологія діагностики захворювань МЗ містить програмний модуль обробки анкетних даних пацієнта, підсистему формування термограм; модулі фільтрації термограми, розрахунку статистичних показників, сегментації термограми та постановки попереднього діагнозу.

Під час роботи модуля обробки анкетних даних пацієнта користувач ідентифікує людину, яка проходить обстеження, та заносить відомості про стан її здоров'я, а саме – температуру тіла, відомості про шкіру та сосок МЗ, форму новоутворення при пальпації, больові відчуття, виділення з сосків МЗ та ін.

Після занесення анкетних даних проводиться термографічне обстеження з використанням підсистеми формування термограми, апаратне забезпечення якої дозволяє зняти набір температурних показників із МЗ пацієнта. Програмне забезпечення підсистеми під час обробки масиву температурних даних формує термограму (зображення).

Далі в модуль фільтрації термограми надходить зображення з підсистеми формування термограм. Дане зображення обробляється кількома фільтрами для покращення якості та візуального сприйняття термограми (медіанна, гомоморфна фільтрація та ін. [9]). Медіанна фільтрація з маскою [3x3] застосовується кілька разів. Потім двічі проводиться обробка отриманого зображення, використовуючи гомоморфну фільтрацію з певною згорткою.

До модулю розрахунку статистичних показників надходить масив значень температури з підсистеми формування термограм. У даному програмному модулі реалізоване обчислення параметрів: середнього, мінімального та максимального

значення температури кожної МЗ, різниці між середніми температурами лівої та правої МЗ, граничної різниці температур симетричних позицій; максимальної локальної асиметрії температури та максимального локального перевищення температури над середньою температурою правої та лівої МЗ.

Розрахунок різниці між середніми температурами лівої та правої МЗ здійснюється за формулою:

$$Sat = \left| \left(\sum_{i=\overline{1,n}} Tp(i) \Big/ n \right) - \left(\sum_{j=\overline{1,m}} Tl(j) \Big/ m \right) \right|, \tag{1}$$

де Sat – різниця між середніми температурами лівої та правої МЗ; $Tp(i)$ – температура *i*-го показника правої МЗ; $Tl(j)$ – температура *j*-го показника лівої МЗ; *i, j* – конкретний показник температури відповідної МЗ; *n, m* – кількість температурних показників кожної МЗ відповідно.

Гранична різниця температур симетричних позицій розраховується за формулою:

$$Ssp(l) = \left| Tp(l) - Tl(l) \right|, \tag{2}$$

де $Ssp(l)$ – масив з граничною різницею температур симетричних позицій; $Tp(l)$ – температурний показник правої МЗ *l*-ої позиції; $Tl(l)$ – температурний показник лівої МЗ *l*-ої позиції; *l* – кількість симетричних позицій.

Максимальне локальне перевищення температури над середньою температурою правої та лівої МЗ розраховується наступним чином:

$$Lp = \max_{i=\overline{1,n}} \max_{j=\overline{1,2}} \left(Tav - Tavl_j(i) \right), \tag{3}$$

де Lp – максимальне локальне перевищення; Tav – середня температура МЗ; $Tavl_j(i)$ – середня температура i-ої локальної області МЗ; *j* – номер МЗ (1 – ліва МЗ, 2 – права).

До модулю сегментації термограми надходить відфільтроване зображення та набір статистичних показників з відповідних програмних модулів. Цей модуль вперше реалізує комбінацію кількісного аналізу термограми, фільтрації та сегментації термограми. Сегментація представлена алгоритмом k-середніх, що дозволяє отримати інформативні сегменти на термограмі, розрахувати їх площу, виділити межі зон патологічних процесів, різких та очагових змін температури.

Модуль постановки попереднього діагнозу представляє собою нечітку модель, котра отримує вхідні дані про стан пацієнта на момент обстеження з програмного модуля обробки анкетних даних, набір статистичних показників з модуля розрахунку статистичних показників та колір, кількість і площу сегментів з модуля сегментації, та на основі нечіткого логічного виводу (може висновку) формує оцінки варіантів попереднього діагнозу пацієнта.

Нечітка модель представляє собою функціональну залежність виду:

$$f : \overline{X} = \{x_1, x_2, ... x_n\} \to Y, \tag{4}$$

 © А.Ю. Тітова

де $\overline{X}$ – вектор вхідних лінгвістичних змінних, які містять діагностичні ознаки захворювань МЗ; Y – вихідна змінна, значення якої відповідає певному захворюванню МЗ.

Далі у спрощеному вигляді наведені лінгвістичні змінні вектору $\overline{X}$: x_1 – біль в МЗ, x_2 – температура тіла пацієнта, x_3 – зміни шкіри МЗ, x_4 – виділення з сосків МЗ, x_5 – форма новоутворення, x_6 – середня різниця температур МЗ, x_7 – різниця температур симетричних позицій, x_8 – максимальне локальне перевищення температури правої МЗ, x_9 – максимальне локальне перевищення температури лівої МЗ, x_{10} – максимальна локальна асиметрія, x_{11} – площа гіпертермії, x_{12} – колір гіпертермії.

У свою чергу, вихідна лінгвістична змінна y – попередній діагноз.

На основі формалізованих лінгвістичних змінних і знань експертів сформована нечітка база знань у вигляді системи нечітких продукцій.

Нечіткий логічний вивід здійснюється на базі цих правил і містить розрахунок значень функцій належності термів, обчислення на основі нечіткої логічної кон'юнкції значень антецедентів правил, розрахунок значень функцій належності термів вихідної змінної.

У нечіткій моделі використано метод логічної кон'юнкції за мінімальним значенням в умовах нечітких правил та метод логічної диз'юнкції за максимальним значенням.

Результатом роботи нечіткої моделі є множина термів, яка містить набір варіантів попереднього діагнозу, та розрахованих значень їх функцій належності. Нечіткий логічний вивід даної моделі реалізовано за алгоритмом Сугено, з використанням нечіткої логічної кон'юнкції та диз'юнкції, в процесі дефазифікації застосовується метод зваженого середнього. Як вихідний попередній діагноз обирається терм з максимальним значенням функції належності, який може мати такі чисельні оцінки: y = [0 – Нормотермограма; 0.1 – Вузлова форма раку; 0.2 – Дифузна форма раку; 0.4 – Кіста; 0.5 – Мастопатія; 0.6 – рак Паджета; 0.7 – Маститоподібна форма раку; 0.9 – Мастит]. Ці оцінки слід використати під час перевірки адекватності нечіткої моделі інформаційної технології діагностики.

Для набору даних: [1.5; 36.3; 0.08; 2.5; 1.7; 1.2; 2.65; 1.9; 1.9; 3.7; 19; 3.6], з відповідними вхідними лінгвістичними змінними: x_1 = 1,5; x_2 = 36,3 ˚С; x_3 = 0,08; x_4 = 2,5; x_5 = 1,7; x_6 = 1,2 ˚С; x_7 = 2,65 ˚С; x_8 = 1,9 ˚С; x_9 = 1,9 ˚С; x_{10} = 3,7 ˚С; x_{11} = 19 пікселів; x_{12} = 3,6 був триманий результат: y = 0.1 – Вузлова форма раку, який представлений на рис.3.

Узагальнений алгоритм функціонування інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ жінок на засадах нечіткої логіки представлений на рис. 4.

Як видно на рис. 4, спочатку заносяться та обробляються відомості про стан здоров'я (анкетні дані) пацієнта. Потім слід проаналізувати числові дані з інтелектуальних датчиків сканера термографа та сформувати масив температурних показників. Далі створюється теплове зображення (термограма) на основі відповідності температурних показників пікселям певного кольору.

На основі отриманого масиву температур необхідно обчислити статистичні показники, що потрібні для подальшого аналізу.

Виконується гомоморфна та медіанна фільтрація створеного зображення. Сегментацію термограми необхідно провести на основі відфільтрованого зображення, що дозволяє реалізувати обробку розрахованих статистичних показників і термограми після сегментації як комбінацію кількісного аналізу, фільтрації та кластеризації термограми.

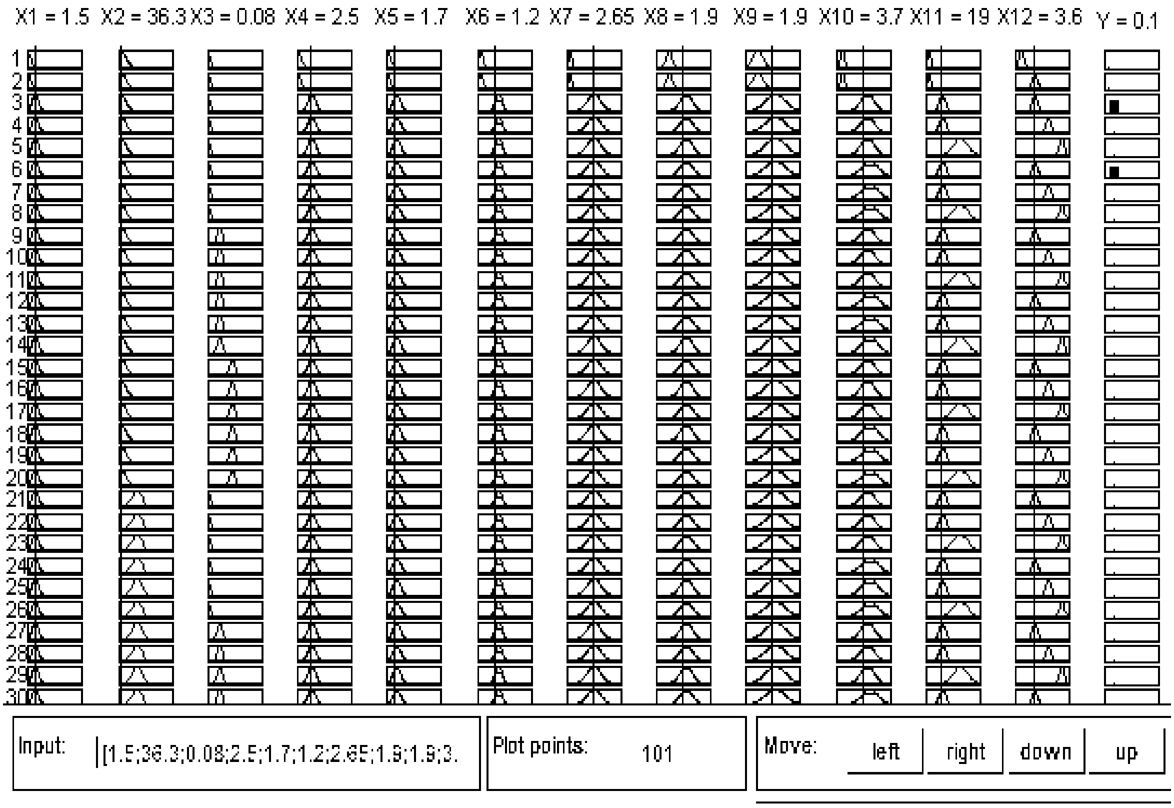


Рис.3. Приклад формування попереднього діагнозу на основі нечіткого логічного виводу

Далі розраховуються характеристики області гіпертермії, а саме – колір, кількість сегментів та площа гіпертермії. Потім формуються значення вхідних змінних нечіткої моделі постановки попереднього діагнозу та відбувається нечіткий логічний вивід, результатом якого є множина варіантів попереднього діагнозу і значення їх функцій належності. Серед отриманих варіантів діагнозу обирається той, функція належності якого має максимальне значення.

Для перевірки адекватності моделей інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ на засадах нечіткої логіки здійснювалося порівняння результатів роботи даної інформаційної технології з висновками експерта.

Для оцінки адекватності моделі використано критерій:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}(y_i - me_i)^2}\ , \tag{5}$$

де y_i – значення вихідного результату інформаційної технології діагностики для термограми; me_i – значення висновку медичного експерта для термограми; l – кількість термограм, що обираються для аналізу.

У результаті дослідження 50 термограм було отримане значення критерію 0,000018, яке свідчить про адекватність моделі інформаційної технології діагностики.

 © А.Ю. Тітова



Рис. 4. Узагальнений алгоритм функціонування інформаційної технології діагностики

Висновки

У даному дослідженні розроблено структуру інформаційної технології діагностики онкологічних захворювань МЗ жінок на засадах нечіткої логіки, яка включає апаратне та програмне забезпечення. Сформовано алгоритми функціонування програмних модулів даної інформаційної технології при встановленні попереднього діагнозу. Отримані дані з оцінки адекватності моделі інформаційної технології діагностики свідчать про те, що вона може бути використана для автоматизації процесу масового скринінгу пацієнтів на основі аналізу термограм з метою своєчасного виявлення ознак захворювань МЗ та покращення результатів лікування.

Література

1. Тітова А. Ю. Апаратні та програмні складові первинної діагностики онкологічних захворювань молочної залози на основі термографії / А.Ю. Тітова, О.М Шушура // Збірка праць V Міжнародної міжвузівської школи-семінару «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі МІЗД ТС - 2015» – Івано-Франковськ, 2015. – С. 98 – 101.
2. Приходченко В.В. Можливості контактної цифрової термографії у ранній доклінічній діагностиці раку молочної залози / В.В. Приходченко, О.В. Приходченко, В.О. Білошенко, О.С. Карначов, В.Д. Дорошев, О.І. Калініна // ОНКОЛОГІЯ. – 2011. – т.13, № 2 – С. 125 – 129.
3. Борковський А.В. Комп'ютеризована система обробки і аналізу зображень об'єктів, отриманих за допомогою систем технічного бачення. / А. В. Борковський, Л.А. Борковська. // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – № 2. – С. 60-62.
4. Аль-Мзіраві А.М.Л. Аналіз можливості застосування в медичній діагностиці матричних тепловізорів, працюючих в спектральному діапазоні 3-5 й 8-12 мкм. / А.М.Л. Аль-Мзіраві, В.Г. Колобродов, В.І. Котовський. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ». – 2013. – №46 – С. 134 – 140.
5. Skala, K., Lipi, T., Sovi, I., Gjenero, L., Grubisik, I. (2011), "4D thermal imaging system for medical applications", *Periodicum biologorum,* Vol. 113, No. 4, pp. 407 – 416.
6. Березький О.М. Нечітка база знань інтелектуальної системи діагностування видів раку молочної залози/ О.М. Березький, Г.М. Мельник, К.М. Березька // Вісник Хмельницького національного університету – 2013. – №6 – С. 284-291.
7. Mookiah, MRK., Acharya, U.R., Ng, E.Y.K. (2012), "Data mining technique for breast cancer detection in thermograms using hybrid feature extraction strategy", *Quantitative InfraRed Thermography Journal,* pp. 1-15.
8. Faust, O., Acharya, U.R., Ng, E. Y. K., Hong, T.J., Yu, W. (2014) "Application of infrared thermography in computer aided diagnosis", *Infrared Physics & Technology,* Vol. 66, pp. 160–175.
9. Тітова А.Ю. Методи сегментації термограм під час діагностики онкологічних захворювань молочної залози / А.Ю. Тітова, О.М. Шушура // Наукові праці ДонНТУ. – Красноармійськ, 2015. – № 1(28).– С. 89 – 96.

References

1. Titova A. Yu. Aparatni ta prohramni skladovi pervynnoi diahnostyky onkolohichnykh zakhvoriuvan molochnoi zalozy na osnovi termohrafii / A.Yu. Titova, O.M Shushura // Zbirka prats V Mizhnarodnoi mizhvuzivskoi shkoly-seminaru «Metody i zasoby diahnostyky v tekhnitsi ta sotsiumi MIZD TS - 2015» – Ivano-Frankovsk, 2015. – C. 98 – 101.
2. Prykhodchenko V.V. Mozhlyvosti kontaktnoi tsyfrovoi termohrafii u rannii doklinichnii diahnostytsi raku molochnoi zalozy / V.V. Prykhodchenko, O.V. Prykhodchenko, V.O. Biloshenko, O.S. Karnachov, V.D. Doroshev, O.I. Kalinina // ONKOLOHIYA. – 2011. – t.13,№ 2 – S. 125 – 129.
3. Borkovskyi A.V. Kompiuteryzovana systema obrobky y analizu zobrazhen obiektiv, otrymanykh za dopomohoiu system tekhnichnoho bachennia. / A. V. Borkovskyi, L.A. Borkovska. // Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2010. – № 2. – S. 60-62.
4. Al-Mziravi A.M.L. Analiz mozhlyvosti zastosuvannia v medychnii diahnostytsi matrychnykh teplovizoriv, pratsiuiuchykh v spektralnomu diapazoni 3-5 y 8-12 mkm. / A.M.L. Al-Mziravi, V.H. Kolobrodov, V.I. Kotovskyi. // Visnyk NTUU "KPI". Seriia «PRYLADOBUDUVANNYA». – 2013. – №46 – S. 134 – 140.
5. Skala, K., Lipi, T., Sovi, I., Gjenero, L., Grubisik, I. (2011), "4D thermal imaging system for medical applications", *Periodicum biologorum,* Vol. 113, No. 4, pp. 407 – 416.
6. Berezkyi O.M. Nechitka baza znan intelektualnoi systemy diahnostuvannia vydiv raku molochnoi zalozy/ O.M. Berezkyi, H.M. Melnyk, K.M. Berezka // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – 2013. – №6 – S. 284-291.
7. Mookiah, MRK., Acharya, U.R., Ng, E.Y.K. (2012), "Data mining technique for breast cancer detection in thermograms using hybrid feature extraction strategy", *Quantitative InfraRed Thermogr. Journal,* pp. 1-15
8. Faust, O., Acharya, U.R., Ng, E. Y. K., Hong, T.J., Yu, W. (2014) "Application of infrared thermography in computer aided diagnosis", *Infrared Physics & Technology,* Vol. 66, pp. 160–175.
9. Titova A.Yu. Metody sehmentatsii termohram pid chas diahnostyky onkolohichnykh zakhvoriuvan molochnoi zalozy /A.Yu. Titova, O.M. Shushura//Naukovi pratsi DonNTU. – Krasnoarmiisk, 2015. № 1(28).– S. 89 – 96.

 © А.Ю. Тітова

RESUME

A.Yu. Titova

Information technology diagnostic breast cancer on the basis of fuzzy logic

Currently, breast cancer (BC) is one of the most dangerous diseases to mortality in Ukraine and in the world, so the problem of timely diagnosis and treatment of choosing the right direction is important. This problem is solved by developing and studying new information technologies diagnose diseases breast.

In this study, the object is forming of the structure of information technology diagnosis of BC on fuzzy logic. In order to improve efficiency of diagnosis and acceleration of screening large numbers of patients are development relevant software modules of information technology diagnosis of BC and its interaction. Modern information technologies diagnosis of BC based on thermography are working with quantitative characteristics of thermal image, the analysis of visual characteristics of thermal image is involved in medical personnel.

The structure of information technology of diagnosis of BR based on fuzzy logic was presented, algorithm software modules interaction information technology was formed and its role in analyzing the characteristics of thermal image. In the module calculating statistical indicators implemented calculation parameters: maximum temperature difference between symmetrical positions; maximum asymmetry local temperature and maximum temperatures exceeding local average temperature over the left and right of the breast et al.

The module setting the preliminary diagnosis is a fuzzy model, in which data about the patient's condition at the time of survey is receiving from software module processing of personal data, a set of statistical indicators – module calculating statistical indicators and number, area of segments – module segmentation, after preliminary diagnosis of patient was put based on fuzzy logic. The result of this model is a set of terms, which includes a set of options for the preliminary diagnosis and calculated values of membership functions.

The results of evaluation of the adequacy of information technology indicate that it can be used for automating the process of mass screening of the population based on analysis of thermal image for timely detection of diseases and increase the efficiency of diagnosis BC and improving treatment.

Надійшла до редакції 30.06.2016

© А.Ю. Тітова